



Universidad  
Carlos III de Madrid



This is a postprint version of the following published document:

García, F., Jiménez, F., Puertas, E., Naranjo, J.E., Armingol, J.M., & Fernández, J. (2013). Pre-collision Systems for Urban Environment Accidents Avoidance. *Securitas Vialis*, 15, pp. 41-60.

DOI: [10.1007/s12615-013-9068-1](https://doi.org/10.1007/s12615-013-9068-1)

© Etrasa, 2013

# **Pre-collision Systems for Urban Environment Accidents Avoidance**

## **Sistema Pre-colisión Para Prevención de Accidentes en Entornos Urbanos**

**García, F.<sup>1</sup> - Jiménez, F.<sup>2</sup>- Puertas, E.<sup>3</sup> - Naranjo, J.E.<sup>2</sup> - Armingol, J.M.<sup>1</sup> - Fernández, J.<sup>3</sup>**

Published June 2013  
© Etrasa, 2013

**Abstract:** Primary security systems are oriented to avoid accidents, secondary, on the other hand, focus in reducing the consequences of them. There is a group of systems that stands halfway of both sets, they use information sources from first set, but usually they pursue the objectives of the second set, they are pre-collision systems. Pre-collision systems that were taken into account on this re-search work consider the actions to perform to control the vehicle (steering or breaking), and the generation of signals to deploy the

---

1.- García, Fernando - Armingol, José M<sup>a</sup>.

Laboratorio de Sistemas Inteligentes. Universidad Carlos III de Madrid. España.

2.- Jiménez, Felipe - Naranjo, José E.

INSIA. Universidad Politécnica de Madrid. España

3.- Puertas, E. - Fernández, J.

Sistemas e Ingeniería de Control. Universidad Europea de Madrid. España.

security systems to be activated before the collision. In the present paper, a pre-collision system is presented, the system is able to avoid hits and collisions, or in the event of unavoidable accident, it minimizes the possible damage caused. The development of the mitigation maneuvers depends on the accurate analysis and the correct understanding of the environment. Following this statement, the present work provides obstacle detection, evaluation of risk and avoidance possibility.

**Keywords:** Advance Driver Assistance Systems, perception, pre-collision, data fusion.

**Resumen:** Los sistemas de seguridad primaria están orientados a evitar accidentes, mientras que los de seguridad secundaria tienen como objetivo el reducir las consecuencias de los mismos. Existe un grupo de sistemas que se solapan entre ambos, ya que aprovechan información propia de los primeros pero, en general, persiguen el segundo objetivo: son los sistemas pre-colisión. Los sistemas pre-colisión que se contemplan en este trabajo de investigación consideran acciones sobre los controles del vehículo (frenos y dirección) y la generación de señales para el despliegue de sistemas de seguridad que pueden ser activados antes de la colisión. En este artículo, se presenta un sistema pre-colisión cuyo objetivo es evitar el accidente o atropello, o bien, minimizar las posibles lesiones ocasionadas. El desarrollo de maniobras de mitigación dependerá del correcto análisis e interpretación del entorno, por lo que, en este trabajo, se presentan algoritmos de detección de obstáculos, evaluación del riesgo y la evitabilidad del accidente.

**Palabras clave:** Sistemas de Ayuda a la Conducción, percepción, pre-colisión, fusión sensorial.

## 1. Introducción

España ocupa el lugar decimoprimer en la Europa de los 25 en las estadísticas de accidentes totales (carretera más zona urbana). En las vías urbanas se registraron en 2011 un total de 47.149 accidentes con víctimas, en los cuales fallecieron 457 personas (el 22 % del total), 4.522 resultaron heridas graves y 56.588 heridas leves (Dirección General de Tráfico). Estos datos corroboran, por lo tanto, la afirmación de que la accidentalidad vial es todavía un problema de salud pública.

Los sistemas de seguridad primaria están orientados a evitar accidentes, mientras que los de seguridad secundaria tienen como objetivo el reducir las consecuencias de los mismos. Existe un grupo de sistemas que se solapan entre ambos, ya que aprovechan información propia de los primeros pero, en general, persiguen el segundo objetivo, los sistemas pre-colisión (Baumann, Schöneburg & Justen, 2001). Los sistemas de seguridad activa dotan al vehículo de sistemas inteligentes capaces de predecir y evitar accidentes que el conductor por sí solo no podría controlar, constituyendo los llamados Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción.

Un aspecto que resulta clave en estos sistemas es la decisión de si la colisión es o no evitable, ya que condiciona el tipo de actuaciones que debe tomar el vehículo de forma automática (medidas reversibles o irreversibles). Para ello, del análisis en tiempo real de la situación, debe calcularse el TTC (Time-to-collision) y compararlo con el TTA (Time-to-Avoidance). Otra información de interés es la velocidad relativa de impacto, la probabilidad de éste, su loca-

lización, las características de masa y rigidez del obstáculo y su identificación. Los sistemas de percepción embarcados en un vehículo son imprescindibles para estimar el grado de seguridad de una situación y para que el sistema de control pueda tomar una decisión adecuada (Sugimoto & Sauer, 2005).

La investigación en seguridad vial realizada en el mundo indica que ningún sensor basta para adquirir por sí solo toda la información del entorno vial, siendo necesario fusionar datos de distintos sensores. Tradicionalmente, se han empleado sistemas de percepción basados en tecnología láser o radar en el diseño de Sistemas de Asistencia a la Conducción con el claro objetivo de detectar obstáculos gracias a su alta fiabilidad (Fuerstenberg, 2005; Milch & Behrens, 2001). La percepción basada en visión artificial se ha utilizado principalmente para la detección y clasificación de la señalización vial, así como en la detección de la señalización de limitación de velocidad que recientemente han comenzado a incorporar vehículos de los fabricantes Lexus, BMW y Opel. La detección de los límites de la carretera para evitar salidas de calzada en entornos de autopista constituye otra de las aplicaciones que fabricantes como Mercedes y Opel comienzan a instalar en sus vehículos (Wang, Shen & Teoh, 2000).

Como muestran las estadísticas, más de la mitad de los accidentes con víctimas mortales ocurren en entornos urbanos, es decir, donde menos influencia tienen aquellos elementos de seguridad activa puestos a disposición del conductor en estos momentos. Es por ello que los sistemas de aviso de colisión frontal, lateral, atropello o frenado automático de emergencia cobran un interés particular precisamente en situaciones de circulación en ciudad.

Otro de los aspectos que pretende valorar el presente trabajo de investigación son los sistemas de registro de datos (Kowalick, 2005), su aplicación al transporte por carretera se reduce prácticamente a camiones pesados, especialmente en los EEUU, donde casi todos los fabricantes incluyen algún tipo de grabador de datos de eventos sobre parámetros del motor, dispositivos de seguridad, velocidad y acciones del conductor (Dalmotas et al. , 2009).

Así, en el presente trabajo de investigación se muestra un sistema de seguridad activa basado en medidas pre-colisión. El sistema desarrollado contempla acciones sobre los controles del vehículo (frenos y dirección) y la generación de señales para el despliegue de los elementos de seguridad que pueden ser activados antes de la colisión con obstáculos identificados por un sistema de percepción basado en fusión sensorial. Con el fin de poder analizar las situaciones de riesgo, o para poder establecer puntos negros, una unidad de registro de datos ha sido incorporada al sistema final.

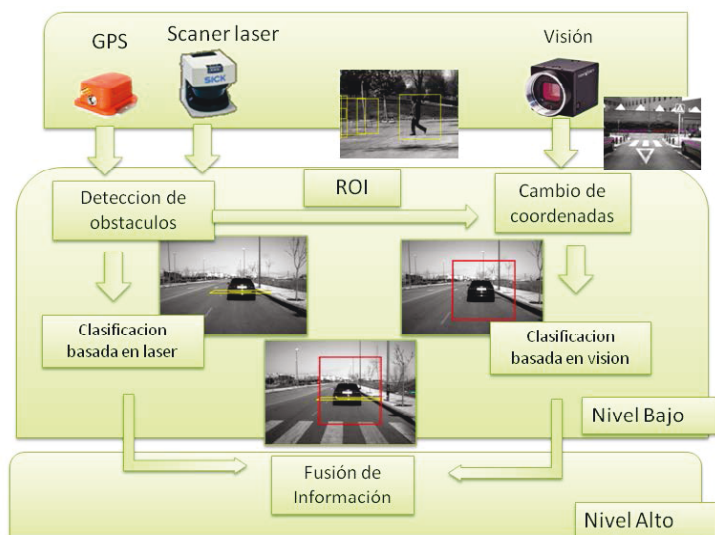
## **2. Percepción del entorno y fusión de la información sensorial**

En el marco del trabajo de investigación presentado en este artículo se ha desarrollado un sistema de percepción multisensorial basado en visión por computador y tecnología láser que permita la identificación y clasificación de objetos en entornos con una gran variabilidad como son los urbanos; con un ángulo de visión de 180° y una distancia efectiva de detección de 35-40m.

Mediante la fusión de información se busca crear un sistema sensorial con una alta fiabilidad. Durante los últimos años, los esfuerzos encaminados a crear sistemas avanzados de seguridad vial han

evidenciado la limitación de los sistemas sensores empleados. Por un lado, la visión por computador provee de una gran cantidad de información, pero esta información está poco estructurada y requiere de un gran esfuerzo computacional para obtener resultados, los cuales, por otro lado, son de una fiabilidad limitada. Los sistemas de escáner láser han demostrado ser altamente fiables, pero están limitados por su escasa información. De este modo, se busca mejorar las prestaciones de cada sistema por separado, proveyendo de un sistema completo y fiable, capaz de cumplir con las elevadas exigencias de los sistemas de seguridad vial.

El algoritmo de fusión se basa en fusión a nivel alto, es decir, se realiza un proceso de clasificación independiente basada en la información que provee cada sensor y una etapa de fusión se encarga de proveer de las detecciones finales basada en algoritmos de fusión sensorial (figura 1).



*Figura 1: Esquema del sistema sensorial.*

A continuación se detallan cada uno de los niveles, y se presentan los diferentes algoritmos desarrollados.

## **2.1. Nivel bajo**

Como se ha comentado, dos etapas independientes se encargan de detectar los obstáculos para cada uno de los sensores implicados. El sensor de escáner láser constituye el sistema más fiable para detección de posibles obstáculos, por lo que se decidió que el conjunto de obstáculos detectados por éste fuese la base de los dos sistemas de clasificación.

### **Detección basada en escáner láser**

La información obtenida por el escáner ha de ser corregida, en una primera estancia, debido al movimiento del vehículo, que crea variaciones en las medidas de acuerdo al mismo. Un sistema de GPS diferencial ha sido utilizado para medir el movimiento del vehículo y corregir este desplazamiento en las medidas.

Una vez detectados los diversos obstáculos, se crean patrones para vehículos (García et al., 2012) y para peatones (García et al. 2011). Estos patrones demostraron ser eficientes, pero insuficientes para una detección positiva de los diferentes obstáculos. Por lo que se añade una etapa simple de seguimiento, que computa el movimiento de los diferentes obstáculos y permite seguir su movimiento a lo largo del tiempo. Se han añadido diversos filtros para eliminar falsos positivos, como movimientos imposibles, cambios repentinos de tamaño, etcétera.

### **Sistema de visión**

El sistema de detección basada en visión por computador recoge las regiones de interés creadas por el sistema láser, creando cajas dentro de la imagen donde es posible encontrar un obstá-



culo. Dentro de estas regiones se emplea un algoritmo basado en Haar Like features (P Viola & Jones, 2001) para identificar los vehículos y el HOG features para peatones (Dalal & Triggs, 2004) (Figura 2).



*Figura 2: Ejemplo de detección de peatones y vehículos. A la izquierda detecciones de peatones, las detecciones en rojo corresponden a la visión, en azul al láser. A la derecha, las detecciones de vehículos, las detecciones de láser están representadas por cuadros amarillos, las de la visión, por cuadros rojos.*

## 2.2. Nivel alto

El sistema de fusión creado, a nivel alto, consiste en el empleo de métodos de fusión sensorial para fusionar las detecciones de nivel bajo en un esquema descentralizado.

Se definieron dos tipos de detecciones de nivel alto, no-consolidadas y las consolidadas. Las primeras se refieren a aquellas detecciones que a lo largo del tiempo no han sido corroboradas por dos sensores, sino solo por uno. Las consolidadas son aquellas detecciones que han sido corroboradas por ambos sensores. El seguimiento de vehículos y peatones se implementó con un Filtro de Kalman clásico. En cuanto al algoritmo de asociación de datos, encargado de asociar detecciones anteriores con las nuevas recibidas, está basado en el clásico de Global Nearest Neighbors, basado en distancias (García et al., 2012).

### **3. Sistema pre-colisión**

Dentro del sistema de evitación de colisiones, se plantean 3 fases diferenciadas: determinación de la evitabilidad de la colisión y cálculo del tiempo para que se produzca, determinación de la maniobra o actuación más adecuada para evitar el accidente o minimizar sus consecuencias, y ejecución de la maniobra.

#### **3.1. Determinación de la evitabilidad de la colisión**

Se ha partido de los trabajos incluidos en (Miller & Huang, 2002) aunque se han superado las limitaciones del modelo simplificado ahí empleado. Así, se plantean los diferentes escenarios posibles de colisión sin recurrir a simplificaciones excesivamente exigentes en cuanto a geometría o movimiento de los obstáculos y se calcula el tiempo restante para la colisión (Jiménez, Naranjo & García, 2013).

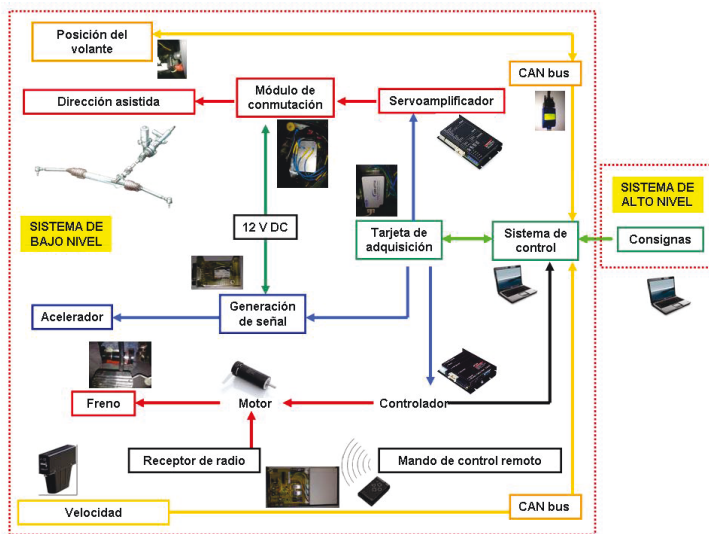
#### **3.2. Módulo de decisión**

El módulo de decisión evalúa las opciones de maniobra a partir de la información del entorno con el fin de evitar el accidente o reducir sus consecuencias, teniendo como premisa el no generar riesgos adicionales a otros usuarios de la carretera. Para ello, hace uso de la información de posicionamiento GPS, de un mapa electrónico detallado y los resultados del sistema de detección. Así, es posible discriminar las zonas de carretera que están libres de obstáculos y hacia las que se puede mover el vehículo sin peligro (Streller, Dietmayer & Sparbert, 2001). Empleando modelos deterministas de seguimiento de vehículos (Glaser et al. , 2010), y ajustando parámetros de los modelos mediante ensayos en pista, se han desarrollado los algoritmos para decidir las acciones más aconsejables en cada momento (Jiménez, Naranjo & Gómez, 2012). Entre las acciones, se contemplan las siguientes:

- Aviso al conductor (el tiempo restante para la colisión es todavía alto y el conductor tiene capacidad de reacción).
- Frenado automático, se pretende evitar o minimizar las consecuencias del accidente.
- Maniobra de esquivar, con movimiento del volante y posible reducción de velocidad, siempre que se determine que existe una zona libre a la que el vehículo pueda moverse con seguridad

### **3.3. Automatización del vehículo**

El sistema se ha implementado sobre los mandos de conducción de un vehículo Citroen C3 Pluriel (Naranjo, et al. 2012). El diseño de la automatización ha implicado el uso de equipos comerciales de control y el diseño de elementos electrónicos y mecánicos (figura 3). El sistema consta de un control de velocidad (acelerador y freno) y un control de la dirección mediante señales que son distribuidas desde una tarjeta de adquisición a los diferentes componentes del sistema, y se establece un sistema de seguridad de frenada de emergencia mediante un control remoto. El sistema recibe las señales de consigna de un sistema externo de más alto nivel (sistema de decisión) y recoge las medidas de posición del volante y velocidad del vehículo para cerrar los bucles de control.



**Figura 3: Esquema general de la arquitectura para el control automático del vehículo.**

El vehículo equipa un acelerador accionado electrónicamente, con lo que la mariposa de la admisión del motor de combustión está controlada por un motor eléctrico paso a paso. Dicho motor está gestionado por la centralita del vehículo, a la que le llega un voltaje variable que depende de la posición del pedal del acelerador y que puede ser puenteada por otra generada desde la tarjeta de adquisición del sistema de control. El control en bucle cerrado de la velocidad se completa con la medida de la velocidad proveniente del bus CAN del vehículo.

El freno del vehículo automatizado no cuenta con ayudas eléctricas. La solución que se ha implementado consiste en el accionamiento directo sobre el pedal de freno a través de un motor paso a paso controlado desde la tarjeta de control que recibe las órdenes de consigna del ordenador.

Por último, el vehículo equipa una dirección asistida eléctricamente formada por un motor de corriente continua que proporciona una fuerza proporcional a la ejecutada por el conductor. Esta señal se puentea y se conecta la entrada al motor de la asistencia a una tarjeta de control de potencia. La señal de consigna de entrada que pasa a través de un servoamplificador es generada desde la tarjeta de adquisición del sistema de control. El bucle de realimentación para el control se realiza a través de la señal proporcionada por el sensor de giro de volante incluido en la columna de la dirección.

Para el desarrollo de la arquitectura de control del vehículo autónomo, se ha optado por un esquema abierto y adaptable, que permita la interoperabilidad con todo tipo de aplicaciones de seguridad y de asistencia a la conducción de alto nivel. Se ha seleccionado una arquitectura en cascada, donde un sistema de control de bajo nivel controla todos los actuadores y sensores del vehículo y además, permite la conexión de cualquier tipo de aplicación vehicular de alto nivel. Se ha utilizado un sistema de control inteligente basado en lógica borrosa (un control para la velocidad y otro para la dirección), que tiene un buen comportamiento manejando aplicaciones no lineales y es capaz de representar el conocimiento procedimental humano.

## **4. Almacenamiento y aprovechamiento de la información. Caja negra**

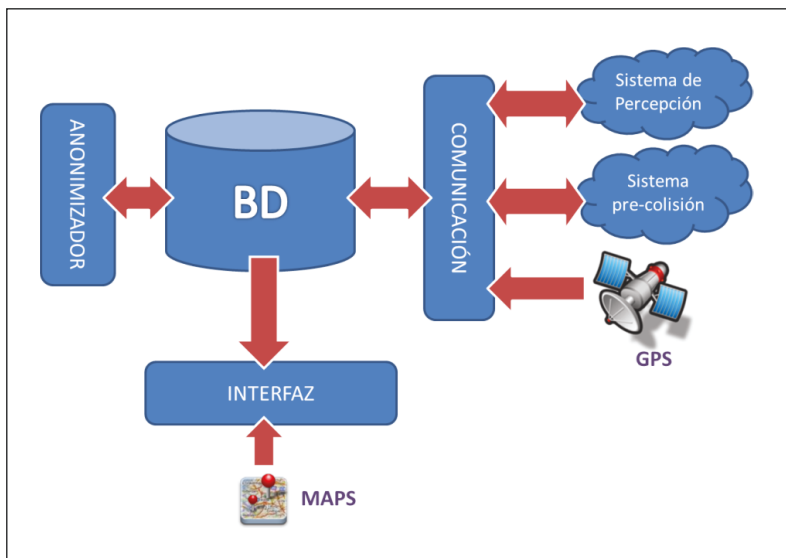
Este trabajo de investigación pretende también valorar el uso de los sistemas de registro de datos (Dalmotas et al., 2009). Algunos países están empezando a legislar el uso de estos registros de datos, aunque inicialmente limitando la cantidad de datos que pueden almacenarse.

### **4.1. Arquitectura del sistema de Registro de Datos**

Se ha desarrollado un sistema de almacenamiento de la información de los datos de los sistemas de captación y de pre-colisión.

El objetivo es almacenar la información para que posteriormente pueda ser volcado a un centro de datos con el fin de analizar las situaciones de riesgo y detectar posibles puntos negros dentro de los entornos urbanos, aquellos con una mayor concentración de situaciones de riesgo.

La caja negra embarcada registra la información de las rutas realizadas por un vehículo, las situaciones de riesgo y los obstáculos. Dicha información es recibida de los sistemas de captación y de pre-colisión y almacenada en una base de datos relacional (figura 4).



*Figura 4: Arquitectura de Sistema de Registro de Datos embarcado.*

## 4.2. Anonimizado

La Ley Orgánica de Protección de Datos (LOPD) regula la toma de imágenes a terceros y sus diferentes formas de difusión y reproducción. En las imágenes captadas por el sistema de percepción pueden aparecer personas y vehículos de terceros, y la LOPD establece que esas imágenes constituyen un dato de carácter personal, cuando su uso afecta a terceras personas. Además, según el informe 0425/2006 de la Agencia Española de Protección de Datos, las matrículas de los vehículos, se consideran también datos de carácter personal y por tanto están protegidos por la LOPD.

En este proyecto se ha desarrollado un módulo de anonimizado de imágenes que detecta caras y matrículas y las difumina para que las personas o los vehículos no sean identificables.

Para la detección de caras y matrículas hemos utilizado un algoritmo basado en el modelo de Viola-Jones (Viola & Jones, 2004). Este algoritmo se basa en una cascada de clasificadores que explora las imágenes en múltiples escalas y posiciones (Freund & Schapire, 1997).

Aunque el proceso de entrenamiento del algoritmo de detección es un proceso relativamente lento, una vez que se ha entrenado, la detección de caras es un proceso rápido y que permite la detección en tiempo real. Para el entrenamiento del sistema de detección de caras se ha utilizado una colección de 1000 imágenes, de las cuales 600 contienen caras frontales, 300 de perfil y en las 100 restantes no hay peatones. En la figura 5 puede verse un ejemplo del resultado devuelto por este módulo.



*Figura 5: Anonimizado de imágenes.*

Para el anonimizado de matrículas se ha implementado también un algoritmo basado en el uso de características tipo Haar (Tian-qing, et al. , 2009).

### **4.3. Aprovechamiento de los datos**

Se ha diseñado también un prototipo para explotar la información recopilada por cada coche mediante técnicas estadísticas y de minería de datos, con el fin de detectar, en entornos urbanos, puntos negros de zonas potencialmente peligrosas, información que puede resultar de especial utilidad para ayuntamientos u otras entidades públicas.

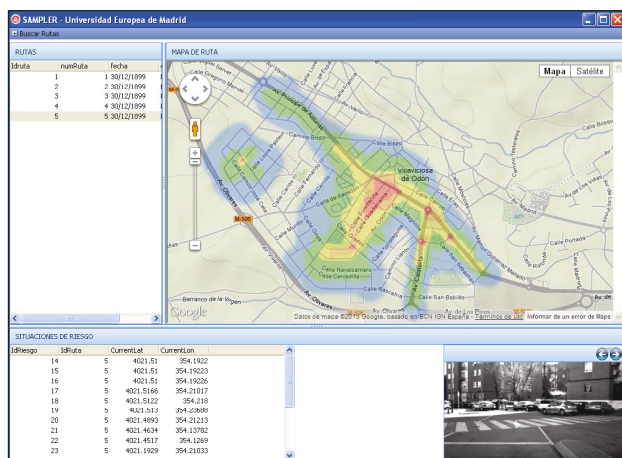
Para mostrar de forma visual estas zonas de puntos negros se han utilizado algoritmos que generan histogramas de densidad de puntos sobre mapas geográficos, en forma de Mapas de Ca-



lor. Los mapas de calor son visualizaciones que se utiliza para representar la intensidad de los datos en determinados puntos geográficos.

Para obtener la representación de puntos negros, el sistema necesita el nombre de la localidad que se quiere analizar y un parámetro que indica un radio de análisis. El algoritmo establece unas coordenadas centrales para la ubicación introducida y selecciona aquellos puntos geográficos en los que se han producido situaciones de riesgo y que están dentro del radio análisis.

A partir de esos datos se genera un mapa de puntos geolocalizados, y se genera un histograma de frecuencias. Aplicando el algoritmo Kernel Density Estimation (KDE) (Truong & Somehahalli, 2011), se genera un mapa de calor interactivo (figura 6).



**Figura 6: Visualización de Puntos Negros como mapas de calor**

## **5. Conclusiones**

En este artículo se presenta un sistema de seguridad activa basado en medidas pre-colisión que contempla acciones sobre los controles del vehículo (frenos y dirección) y la generación de señales para el despliegue de sistemas de seguridad que pueden ser activados antes de la colisión. Con este tipo de sistemas se persigue evitar el accidente o minimizar las posibles lesiones. El sistema presentado se completa con una unidad de registro de datos, con el fin de analizar las situaciones de riesgo y detectar posibles puntos negros dentro de los entornos urbanos.

El sistema propuesto ha sido ensayado en diferentes entornos; tanto el sistema de percepción como el de caja negra han sido comprobados en situaciones reales de conducción en entornos urbanos, mientras que el sistema pre-colisión, ha sido probado en la pista de ensayos que dispone el INSIA en el Campus Sur de la UPM con resultados muy satisfactorios de tiempos de respuesta bajos y aceptables para obtener una alta efectividad en la reducción de accidentes.

## **Agradecimientos**

Este trabajo de investigación ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto de investigación SAMPLER (GRANT TRA2010-20225-C03) y por la Comunidad de Madrid (SEGVAUTO-II (S2009/DPI-1509)).

## Referencias

**Baumann, K.-H., Schöneburg, R., & Justen, R. (2001).** The vision of a comprehensive safety concept. Proceedings of 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.

**Dalal, N., & Triggs, W. (2004).** Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR05, 1(3), 886–893.

**Dalmotas, D. J., German, A., Consulting, D. J. D., & Comeau, I. J.-L. (2009).** Crash pulse analysis using event data recorders. Proceedings of the 19th Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference (pp. 8–10).

**Dirección General de Tráfico.** Anuario estadístico de accidentes. 2011 Ministerio del Interior . ISSN: 1575-3298.

**Freund, Y., & Schapire, R. E. (1997).** A decision theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. Journal of Computer and System Sciences, 55(1), 119–139.

**Fuerstenberg, K. (2005).** Pedestrian Protection based on Laser scanners. ITS World Congress, San Francisco, USA. ITS World Congress. San Francisco.

**Garcia, F., De la Escalera, A., Armingol, J. M., Herrero, J. G., & Llinas, J. (2011).** Fusion based safety application for pedestrian detection with danger estimation. Information Fusion (FUSION), 2011 Proceedings of the 14th International Conference on (pp. 1–8).

**García, F., Jiménez, F., Naranjo, J. E., Zato, J. G., Aparicio, F., Armingol, J. M., & De la Escalera, A. (2012).** Environment perception based on LIDAR sensors for real road applications. Robotica, 30(02), 185–193.

**Glaser, S., Vanholme, B., Mammar, S., Gruyer, D., & Nouveliere, L. (2010).** Maneuver-based trajectory planning for highly autonomous vehicles on real road with traffic and driver interaction. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 11(3), 589–606.

**Jiménez, F., Naranjo, J. E., & Gómez, O. (2012).** Autonomous manoeuvring systems for collision avoidance on single carriageway roads. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12(12), 16498–521.

**Jiménez, F., Naranjo, J., & García, F. (2013).** An Improved Method to Calculate the Time-to-Collision of Two Vehicles. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 11(1), 34–42.

**Kowalick, T. M. (2005).** Fatal exit: the automotive black box debate. Wiley-IEEE Press.

**Milch, S., & Behrens, M. (2001).** Pedestrian Detection with Radar and Computer Vision. *Proc. Conf on Progress in Automobile Lighting*.

**Miller, R., & Huang, Q. (2002).** An adaptive peer-to-peer collision warning system. *Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th (Vol. 1, pp. 317–321)*.

**Naranjo, J. E., Jiménez, F., Gómez, O., & Zato, J. G. (2012).** Low level control layer definition for autonomous vehicles based on fuzzy logic. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 18(4), 333–348.

**Streller, D., Dietmayer, K., & Sparbert, J. (2001).** Object tracking in traffic scenes with multi-hypothesis approach using laser range images. *8th World Congress on Intelligent Transport Systems*.

**Sugimoto, Y., & Sauer, C. (2005).** Effectiveness estimation method for advanced driver assistance system and its application to collision mitigation brake system. *Proceedings of the 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (pp. 5–148)*.

**Tianqing, G., Wenting, L., Honggang, Z., & Jun, G. (2009).** Rapid License Plate Location Using a Boosted Cascade of Haar-like Features.

**Truong, L. T., & Somenahalli, S. (2011).** Using GIS to Identify Pedestrian-Vehicle Crash Hot Spots and Unsafe Bus Stops. *Journal of Public Transportation*, 14(1), 99–114.

**Viola, P., & Jones, M. (2001).** Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR 2001*, 1(C), I-511–I-518.

**Viola, P., & Jones, M. J. (2004).** Robust real-time face detection. *International journal of computer vision*, 57(2), 137–154.

**Wang, Y., Shen, D., & Teoh, E. K. (2000).** Lane detection using spline model. *Pattern Recognition Letters*, 21(8), 677–689.